

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Off nl gungsschrift**  
⑩ **DE 199 07 946 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:  
**G 01 N 27/407**

②1 Aktenzeichen: 199 07 946.3  
②2 Anmeldetag: 24. 2. 1999  
④3 Offenlegungstag: 14. 9. 2000

DE 199 07 946 A 1

⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

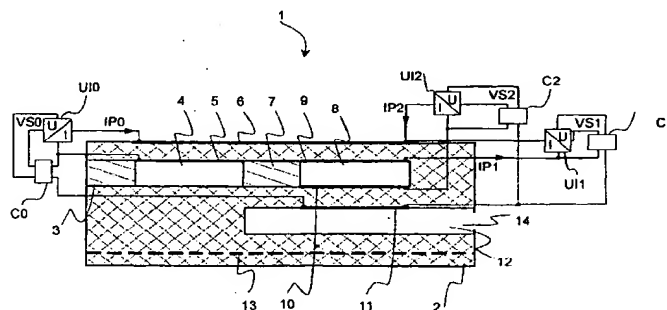
⑦2 Erfinder:  
Walde, Tim, 93059 Regensburg, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Schaltung für einen NO<sub>x</sub>-Meßaufnehmer

⑤7 Die Pumpströme (IP0, IP1, IP2) in einem NO<sub>x</sub>-Meßaufnehmer (1) werden durch spannungsgesteuerte Stromquellen (UI0, UI1, UI2) erzeugt. Anstelle des jeweiligen Pumpstroms (IP0, IP1, IP2) tritt als Rückführungsgröße im jeweiligen Regelkreis die Stellspannung (VS0, VS1, VS2) der spannungsgesteuerten Stromquelle (UI0, UI1, UI2), so daß die Strommessung entfallen kann.



DE 199 07 946 A 1

Die Erfindung betrifft eine Schaltung für einen NOx-Meßaufnehmer gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Zur Messung der NOx-Konzentration in einem Gas, z. B. im Abgas einer Brennkraftmaschine, ist es bekannt, einen Dickschicht-Meßaufnehmer zu verwenden. Ein solcher Meßaufnehmer ist beispielsweise in der Veröffentlichung N. Kato et al., "Thick Film ZrO<sub>2</sub> NOx Sensor for the Measurement of Low NOx Concentration", Society of Automotive Engineers, Veröffentlichung 980170, 1989, oder in N. Kato et al., "Performance of Thick Film NOx Sensor on Diesel and Gasoline Engines", Society of Automotive Engineers, Veröffentlichung 970858, 1997, beschrieben. Dieser Meßaufnehmer weist zwei Meßzellen auf und besteht aus einem Sauerstoffionen leitenden Zirkoniumoxid. Er verwirklicht folgendes Meßkonzept: In einer ersten Meßzelle, der das zu messende Gas über eine Diffusionsbarriere zugeführt wird, wird mittels eines ersten Sauerstoffionen-Pumpstroms eine erste Sauerstoffkonzentration eingestellt, wobei keine Zersetzung von NOx stattfinden soll. In einer zweiten Meßzelle, die über eine Diffusionsbarriere mit der ersten verbunden ist, wird der Sauerstoffgehalt mittels eines zweiten Sauerstoffionen-Pumpstroms weiter abgesenkt. Die Zersetzung von NOx an einer Meßelektrode führt zu einem dritten Sauerstoffionen-Pumpstrom, der ein Maß für die NOx-Konzentration ist. Der gesamte Meßaufnehmer wird dabei mittels eines elektrischen Heizers auf eine erhöhte Temperatur, z. B. 750°C, gebracht.

Um den das Maß für die NOx-Konzentration darstellenden dritten Pumpstrom zu messen, wird dieser üblicherweise über einen Meßwiderstand geführt, und es wird die an diesem Widerstand abfallende Spannung abgegriffen und gemessen. Um die erforderliche Genauigkeit zu erreichen, muß diese Messung relativ hoch aufgelöst erfolgen. Möchte man die üblicherweise für solche Meßaufgaben verwendeten Mikrocontroller einsetzen, zeigt sich, daß ein Analog/Digital-Wandler mit einer Auflösung von 8 Bit dafür nicht ausreicht. Die Schwierigkeiten der Strommessung sind also im wesentlichen in der nötigen Auflösung des Analog/Digital-Wandlers und im Meßfehler des Wandlers (Offset, Gain, etc.) zu sehen. Man muß deshalb teurere Mikrocontroller verwenden, von denen am Markt nur wenige Modelle zur Verfügung stehen, so daß die Auswahl für die Produktion bzw. Auslegung hier eingeschränkt ist.

Es ist somit Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Schaltung für einen eine NOx-Konzentration in einem Gas erfassenden Meßaufnehmer anzugeben, bei der die sich mit der Strommessung ergebenden Schwierigkeiten und Nachteile vermieden sind.

Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 gekennzeichnete Erfindung gelöst.

Erfindungsgemäß wird auf das Messen des Pumpstroms selbst gänzlich verzichtet. Stattdessen sieht die erfindungsgemäße Schaltung eine spannungsgesteuerte Stromquelle vor, die den fraglichen Pumpstrom treibt. Als Meßsignal wird dann nicht mehr der getriebene Strom, sondern die Stellschaltung der spannungsgesteuerten Stromquelle erfaßt. Da diese Stellschaltung von einem Regler, beispielsweise einem Mikrocontroller direkt vorgegeben wird, muß sie nicht mehr gemessen werden, sondern wird vom Mikrocontroller definiert und ist diesem deshalb bekannt.

Die Verwendung der spannungsgesteuerten Stromquelle hat also mehrere Vorteile: so kann die in jeder Schaltkreisordnung normalerweise erforderliche Messung des Pumpstromes über einen Meßwiderstand und geeigneten Spannungsabgriff entfallen. Normalerweise müßte zur Messung

eines jeden Pumpstromes ein Analog/Digital-Port an einem Mikrocontroller verwendet werden. Weiter müßte dieser Analog/Digital-Port hohe Auflösung haben, um den Strom mit ausreichender Genauigkeit messen zu können. Dadurch, daß die Strommessung entfällt und an ihre Stelle die bekannte Stellschaltung tritt, kann ein kostengünstiger, in vielen Modellen verfügbarer 8 Bit-Mikrocontroller verwendet werden.

Weiter entfallen etwaige Meßfehler bei der Bestimmung der Pumpströme.

Vorteilhafterweise werden alle Pumpströme, die zum Betrieb des NOx-Meßaufnehmers getrieben werden müssen, mit einer spannungsgesteuerten Stromquelle erzeugt, deren Stellschaltung von einem Regler vorgegeben wird, so daß die Messung aller Ströme entfallen kann.

In einer vorteilhaften Ausbildung wird die Stellschaltung mit einem Mikrocontroller aus einem pulsweitenmodulierten Signal erzeugt, das an einen Schalttransistor angelegt wird, welcher eine Referenzschaltung an einen Tiefpaß schaltet, der hieraus aus dem Tastverhältnis des pulsweitenmodulierten Signals eine proportionale Ausgangsspannung bereitstellt, welche als Stellschaltung dient.

Schließlich ist der getriebene Pumpstrom unabhängig von der Impedanz des Pumpstromkreises und wird nur durch beispielsweise das bekannte und genaue Tastverhältnis des pulsweitenmodulierten Signals des Mikrocontrollers bestimmt.

Vorteilhafte Ausbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung in einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. Die Zeichnung zeigt:

**Fig. 1** ein Blockschaltbild einer Brennkraftmaschine, bei der ein NOx-Meßaufnehmer mit erfindungsgemäßer Schaltung Anwendung finden kann,

**Fig. 2** eine schematische Schnittdarstellung durch einen NOx-Meßaufnehmer mit schematisch dargestellter Schaltung,

**Fig. 3** ein Blockschaltbild zur Veranschaulichung der Stellschaltungserzeugung, und

**Fig. 4** einen Schaltplan einer spannungsgesteuerten Stromquelle.

In **Fig. 2** ist ein Schnitt durch einen NOx-Meßaufnehmer 1 schematisch dargestellt. Dieser Meßaufnehmer 1 wird in der in **Fig. 1** dargestellten Vorrichtung als Meßaufnehmer 24 zur Bestimmung der NOx-Konzentration im Abgastrakt 27 einer Brennkraftmaschine 20 verwendet. Dazu werden die Meßwerte des NOx-Meßaufnehmers 24 von einer Steuereinheit 23 ausgelesen, die mit dem NOx-Meßaufnehmer 24 verbunden ist, und dem Betriebssteuergerät 25 der Brennkraftmaschine 20 zugeführt, das ein Kraftstoffzufuhrsystem 21 der Brennkraftmaschine 20 so ansteuert, daß ein NOx-reduzierender Katalysator 28, der in diesem Fall stromauf des NOx-Meßaufnehmers 24 im Abgastrakt 27 der Brennkraftmaschine 20 liegt, optimales Betriebsverhalten zeigt.

Der Meßaufnehmer 24, 1 ist in **Fig. 2** detaillierter dargestellt. Die aus einem Festkörperelektrolyten 2, in diesem Fall ZrO<sub>2</sub> bestehende Meßaufnehmer 1 nimmt über eine Diffusionsbarriere 3 das zu messende Abgas auf, dessen NOx-Konzentration bestimmt werden soll. Das Abgas diffundiert durch die Diffusionsbarriere 3 in eine erste Meßzelle 4. Der Sauerstoffgehalt in dieser Meßzelle wird durch Abgriff einer Nernstspannung zwischen einer ersten Elektrode 5 und einer Umgebungsluft ausgesetzten Referenzelektrode 11 gemessen. Dabei ist die Referenzelektrode 11 in einem Luftkanal 12 angeordnet, in den über eine Öffnung 14 Umgebungsluft gelangt.

Die abgegriffene Nernstspannung wird einem als Regler

C0 dienenden 8-Bit Mikrocontroller zugeführt, der auf noch zu erläuternde Weise eine Stellspannung VS0 bereitstellt. Diese steuert eine spannungsgesteuerte Stromquelle UI0 an, die einen ersten Sauerstoffionen-Pumpstrom IP0 durch den Festkörperelektrolyten 2 des Meßaufnehmers 1 zwischen der ersten Elektrode 5 und einer Außenelektrode 6 treibt. Dabei wird mittels der Stellspannung VS0 vom Regler C0 in der ersten Meßzelle 4 eine vorbestimmte Sauerstoffkonzentration eingeregelt. Diese wird über die Nernstspannung zwischen der Elektrode 5 und der Referenzelektrode 11 gemessen, so daß der Regelkreis des Reglers C0 geschlossen ist.

Als spannungsgesteuerte Stromquelle kann die in Fig. 4 dargestellte Schaltung verwendet werden. Einem Operationsverstärker 35 ist an den invertierenden Eingang über einen Widerstand 36 die Stellspannung VS0 angelegt. Der invertierende Eingang ist weiter über einen Widerstand 37 mit dem Ausgang des Operationsverstärkers 35 rückgekoppelt. Der nichtinvertierende Eingang des Operationsverstärkers 35 ist über einen Widerstand 38 mit Erde verbunden und über einen Widerstand 39 mit dem Ausgang des Operationsverstärkers 35 rückgekoppelt. Zwischen die Verknüpfungsknoten des nichtinvertierenden Rückkopplungszweiges und des invertierenden Rückkopplungszweiges ist ein Widerstand 40 geschaltet. Am Ausgang 33 der spannungsgesteuerten Stromquelle UP0 kann der Strom IP0 abgegriffen werden. Diese Schaltung hat den Vorteil, daß der Strom IP0 unabhängig von der Impedanz des Lastwiderstandes, in diesem Fall des Pumpkreises, fest durch die Stellspannung VS0 definiert ist. Die Messung des Stroms IP0 ist nicht erforderlich, da VS0 und IP0 über folgende Gleichung miteinander verknüpft sind:

$$IP0 = VS0/R,$$

wenn R der Wert des Widerstandes 40 ist, und die Widerstände 36 mit 39 alle denselben Widerstandswert haben, der sehr viel größer ist als der Wert des Widerstandes 40.

Vertauscht man die Eingänge des Operationsverstärkers, muß der Wert des Widerstandes 40 sehr viel kleiner sein als der der Widerstände 36 mit 39. Die Widerstände 37 mit 39 haben dann den gleichen Wert und der Wert des Widerstandes 40 ist so groß wie der einer Reihenschaltung aus den Widerständen 36 und 39.

Anstelle der in Fig. 4 dargestellten spannungsgesteuerten Stromquelle für geerdete Verbraucher sind natürlich auch andere Operationsverstärkerschaltungen oder andersartige, spannungsgesteuerte Stromquellen möglich.

Die beschriebene Schaltkreisanordnung stellt so in der ersten Meßzelle 4 eine vorbestimmte Sauerstoffkonzentration ein. Die zweite Meßzelle 8 ist mit der ersten Meßzelle 4 über eine weitere Diffusionsbarriere 7 verbunden. Durch diese Diffusionsbarriere 7 diffundiert das in der ersten Meßzelle 4 vorhandene Gas in die zweite Meßzelle 8. In der zweiten Meßzelle wird über eine Schaltkreisanordnung eine zweite Sauerstoffkonzentration eingestellt. Dazu wird zwischen einer zweiten Elektrode 9 und der Referenzelektrode 11 eine zweite Nernstspannung abgegriffen und einem Regler C1 zugeführt, der auf noch zu beschreibende Weise eine zweite Stellspannung VS1 bereitstellt, mit der eine zweite spannungsgesteuerte Stromquelle UI1 angesteuert wird. Die Schaltkreisanordnung zum Treiben des Sauerstoffionen-Pumpstroms IP1 aus der zweiten Meßzelle 8 heraus entspricht somit der Schaltkreisanordnung für die erste Meßzelle 4. Dies gilt auch für die dort beschriebene spannungsgesteuerte Stromquelle: die spannungsgesteuerte Stromquelle UI1 kann der spannungsgesteuerten Stromquelle UI0 entsprechen, z. B. gemäß Fig. 4 ausgebildet sein.

Die Schaltkreisanordnung treibt den Sauerstoffionen-Pumpstrom IP1 so, daß sich in der zweiten Meßzelle 8 eine vorbestimmte Sauerstoffkonzentration einstellt.

Diese Sauerstoffkonzentration wird dabei so gewählt, daß NOx von den ablaufenden Vorgängen nicht betroffen ist, insbesondere keine Zersetzung stattfindet. Das NOx wird nun an der Meßelektrode 10, die katalytisch ausgestaltet sein kann, in einem dritten Sauerstoffionen-Pumpstrom IP2 von der Meßelektrode 10 zur Außenelektrode 6 hin gepumpt. Da der Restsauerstoffgehalt in der Meßzelle 8 ausreichend abgesenkt ist, wird dieser Sauerstoffionen-Pumpstrom IP2 im wesentlichen nur von Sauerstoffionen getragen, die aus der Zersetzung von NOx an der Meßelektrode 10 stammen. Der Pumpstrom IP2 ist somit ein Maß für die NOx-Konzentration in der Meßzelle 8 und somit im zu messenden Abgas.

Dieser Pumpstrom IP2 wird wie die vorherigen Pumpströme von einer spannungsgesteuerten Stromquelle UI2 getrieben, deren Stellspannung VS2 von einem Regler C2 vorgegeben wird, der die Nernstspannung zwischen der der Meßelektrode 10 und der Referenzelektrode 11 abgreift und durch Vorgabe der Stellspannung VS2 eine vorbestimmte Nernstspannung einregelt. Anstatt den das Maß für die NOx-Konzentration in der Meßzelle 8 darstellenden Pumpstrom IP2 zu messen, wird die Stellspannung VS2 als Meßsignal verwendet, da die Stellspannung VS2 wie beschrieben mit dem getriebenen Pumpstrom IP2 direkt verknüpft ist. Eine aufwendige Messung des Pumpstroms IP2 über einen Meßwiderstand und geeigneten Spannungsabgriff ist somit unnötig.

Die in der Schaltung der Fig. 2 verwendeten Regler C0, C1, C2 sind vorzugsweise Mikrocontroller bzw. ein einziger Mikrocontroller. Die Stellspannungen VS0, VS1, VS2 können an Digital/Analog-Ports des bzw. der Mikrocontroller ausgegeben werden. Vorzugsweise wird jedoch die folgende, in Fig. 3 dargestellte, Schaltung verwendet, um mit dem Mikrocontroller die Stellspannung zu erzeugen.

In Fig. 3 ist ein Mikrocontroller 30 dargestellt, der an einem Ausgangsport ein pulsweitenmoduliertes Signal PW0 ausgibt. Dieses Signal PW0 wird einer Transistorschaltung 31 zugeführt, der weiter eine Referenzspannung UR angelegt wird. Die Transistorschaltung schaltet die Referenzspannung entsprechend dem pulsweitenmodulierten Signal PW0 an einen Tiefpaß 32, der aufgrund seiner Tiefpaßeigenschaften daraus die Stellspannung VS0 erzeugt, deren Höhe proportional zum Tastverhältnis des pulsweitenmodulierten Signals PW0 ist. Diese Stellspannung VS0 wird zur Ansteuerung der spannungsgesteuerten Stromquelle UI0 verwendet, die an ihrem Ausgang 33 den Pumpstrom IP0 zur Verfügung stellt. Dieses Schema zur Erzeugung des Pumpstroms IP0 wird ebenso für die Erzeugung der Pumpströme IP1 und IP2 angewendet, wobei ein einziger Mikrocontroller 30 an drei Ausgangsports die Signale PW0 bzw. PW1 und PW2 bereitstellen kann. Natürlich können auch drei unabhängige Mikrocontroller verwendet werden.

#### Patentansprüche

1. Schaltung für einen eine NOx-Konzentration in einem Gas erfassenden Meßaufnehmer (1), der aufweist eine dem zu messenden Gas ausgesetzte Außenelektrode (6), eine erste Meßzelle (4), eine zweite Meßzelle (8), die mit der ersten Meßzelle (4) verbunden ist und in der eine Meßelektrode (10) angeordnet ist, und eine Referenzelektrode (11), die der Umgebungsluft ausgesetzt ist, wobei die Meßzellen (4, 8) in einem Festkörperelektrolyten (2) liegen und alle Elektroden (10, 11) Kontakt zum Festkörperelektrolyten (2) haben, welche

Schaltung aufweist:

- eine erste Schaltkreisanordnung, die in der ersten Meßzelle (4) eine andere Sauerstoffkonzentration als im zu messenden Gas einstellt,
- eine zweite Schaltkreisanordnung, die in der zweiten Meßzelle (8) eine andere Sauerstoffkonzentration als in der ersten Meßzelle (4) einstellt,
- eine dritte Schaltkreisanordnung, die aus NOx gebildete Sauerstoffionen in einen Pump-Strom (IP2) aus der zweiten Meßzelle (8) von der Meßelektrode (10) zur Außenelektrode (6) hin pumpt,

**dadurch gekennzeichnet**, daß der Strom (IP2) von einer spannungsgesteuerten Stromquelle (UI2) getrieben wird, deren Stellspannung (VS2) von einem Regler (C2) erzeugt wird, der mit der Meßelektrode (10) und der Referenzelektrode (11) verbunden ist, die Nernstspannung dazwischen abgreift und die Stellspannung (VS2) so regelt, daß sich eine vorbestimmte Nernstspannung einstellt, wobei der Wert der Stellspannung (VS2) das Maß für den Strom (IP2) und mithin für die zu messende NOx-Konzentration ist.

2. Schaltung für einen Meßaufnehmer (1), der in der ersten Meßzelle (4) eine erste Elektrode (5) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß in der ersten Schaltkreisanordnung eine spannungsgesteuerte Stromquelle (UI0) einen Pump-Strom (IP0) aus Sauerstoffionen von der ersten Elektrode (5) zur Außenelektrode (6) hin pumpt, daß die Stellspannung (VS0) der spannungsgesteuerten Stromquelle (UI0) von einem Regler (C0) erzeugt wird, der mit der ersten Elektrode (5) und der Referenzelektrode (11) verbunden ist, die Nernstspannung dazwischen abgreift und die Stellspannung (VS0) so regelt, daß sich eine vorbestimmte Nernstspannung einstellt, die ein Maß für die Sauerstoffkonzentration in der ersten Meßzelle (4) ist.

3. Schaltung nach einem der vorherigen Ansprüche für einen Meßaufnehmer (1), der in der zweiten Meßzelle (8) eine zweite Elektrode (9) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß in der zweiten Schaltkreisanordnung eine spannungsgesteuerte Stromquelle (UI1) einen Pump-Strom (IP1) aus Sauerstoffionen von der zweiten Elektrode (9) zur Außenelektrode (6) hin pumpt, daß die Stellspannung (VS1) der spannungsgesteuerten Stromquelle (UI1) von einem Regler (C1) erzeugt wird, der mit der zweiten Elektrode (9) und der Referenzelektrode (11) verbunden ist, die Nernstspannung dazwischen abgreift und die Stellspannung (VS1) so regelt, daß sich eine vorbestimmte Nernstspannung einstellt, die ein Maß für die Sauerstoffkonzentration in der zweiten Meßzelle (8) darstellt, wobei der Regler (C2) die Sauerstoffkonzentration so einstellt, daß im wesentlichen keine Zersetzung von NOx stattfindet.

4. Schaltung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Regler (C0, C1, C2) ein Mikrocontroller (30) ist, der ein pulsweitenmoduliertes Ausgangssignal (PW0, PW1, PW2) erzeugt, aus dem mittels einer Referenzspannung (UR) und einer Transistorschaltung (31) mit nachgeschaltetem Tiefpß (32) die Stellspannung (VS0, VS1, VS2) als dem Tastverhältnis des Ausgangssignales proportionale Gleichspannung erzeugt wird.

5. Schaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Regler (C0, C1, C2) ein Mikrocontroller verwendet wird, der die Stellspannung (VS0, VS1, VS2) an einem digital/analog gewandelten Ausgang liefert.

6. Schaltung nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Mikrocontroller (30)

ein 8-Bit Controller ist.

7. Schaltung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die spannungsgesteuerte Stromquelle (410, 411, 412) einen Operationsverstärker (35) aufweist, dessen nicht-invertierender Eingang einerseits über einen Widerstand (38) auf Bezugspotential gelegt ist und andererseits über einen Widerstand (39) gleicher Größe zum Ausgang rückgekoppelt ist, dessen invertierender Eingang über einen Widerstand (36) mit dem Spannungseingang der spannungsgesteuerten Stromquelle (UI0, UI1, UI2) verbunden ist und andererseits über einen Widerstand (37) mit dem Ausgang des Operationsverstärkers (35) rückgekoppelt ist, wobei zwischen den Verbindungsknoten der Rückkopplung des invertierenden Eingangs und des nichtinvertierenden Eingangs ein Widerstand (40) geschaltet ist, so daß er zwischen dem Stromausgang (33) der spannungsgesteuerten Stromquelle (UI0, UI1, UI2) und dem Ausgang des Operationsverstärkers (35) liegt.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

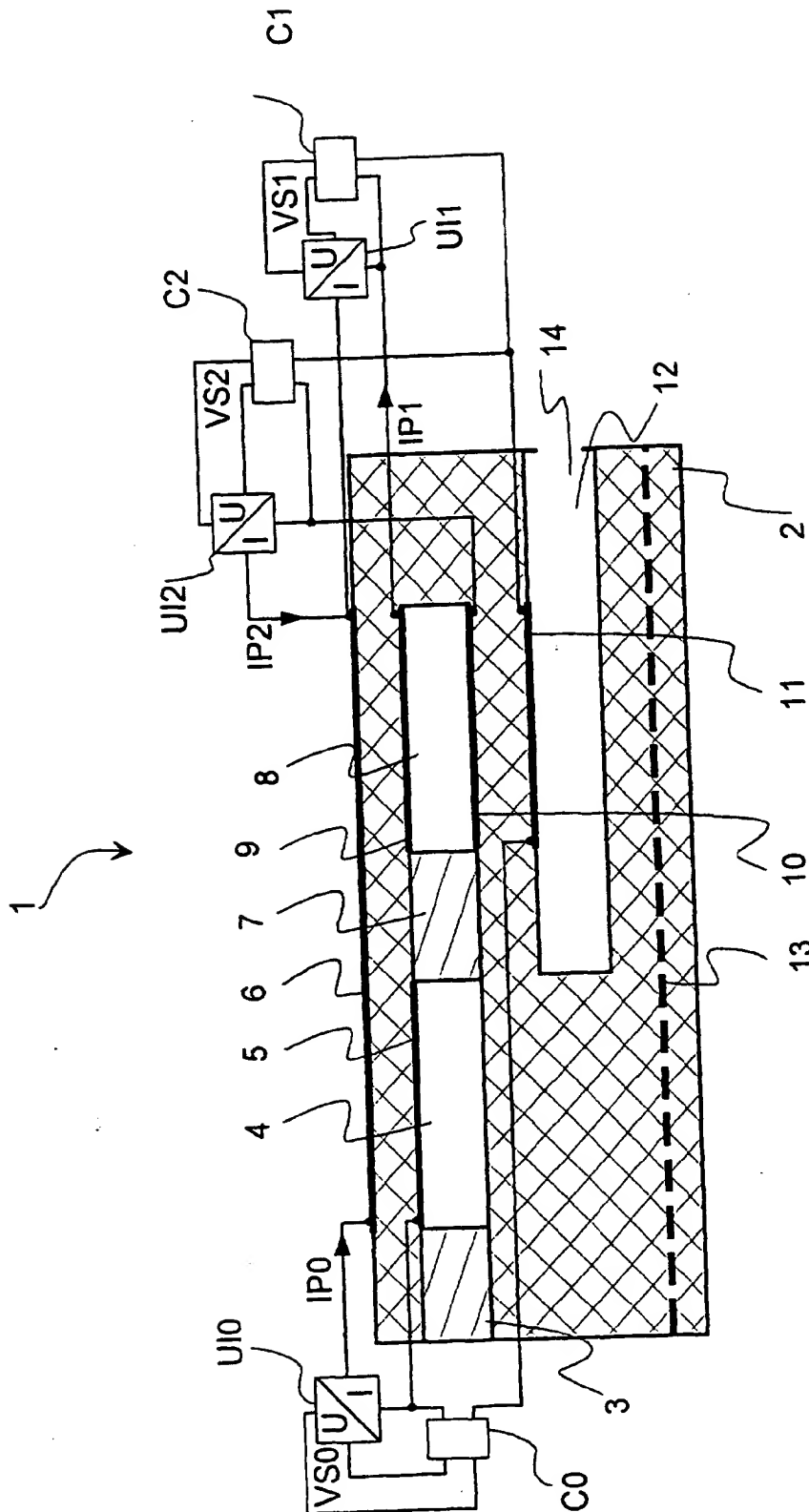
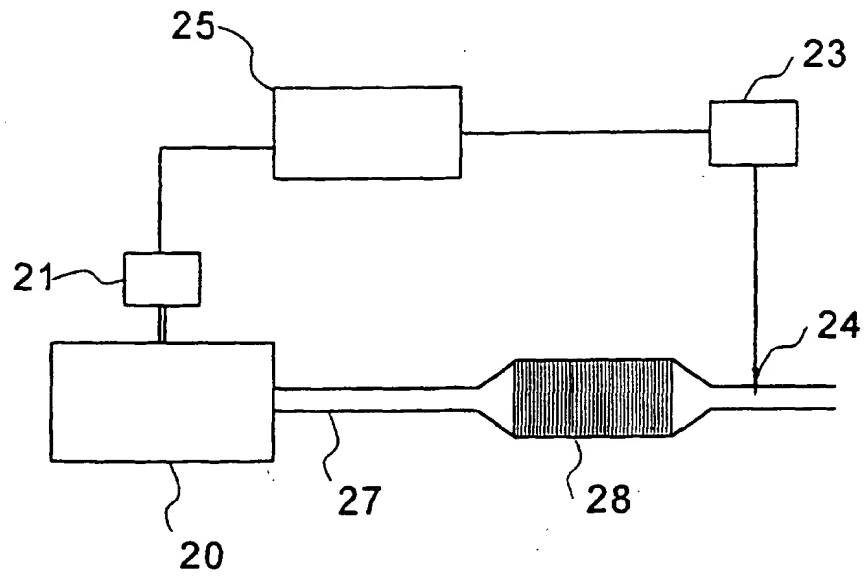


FIG 2





**FIG 1**

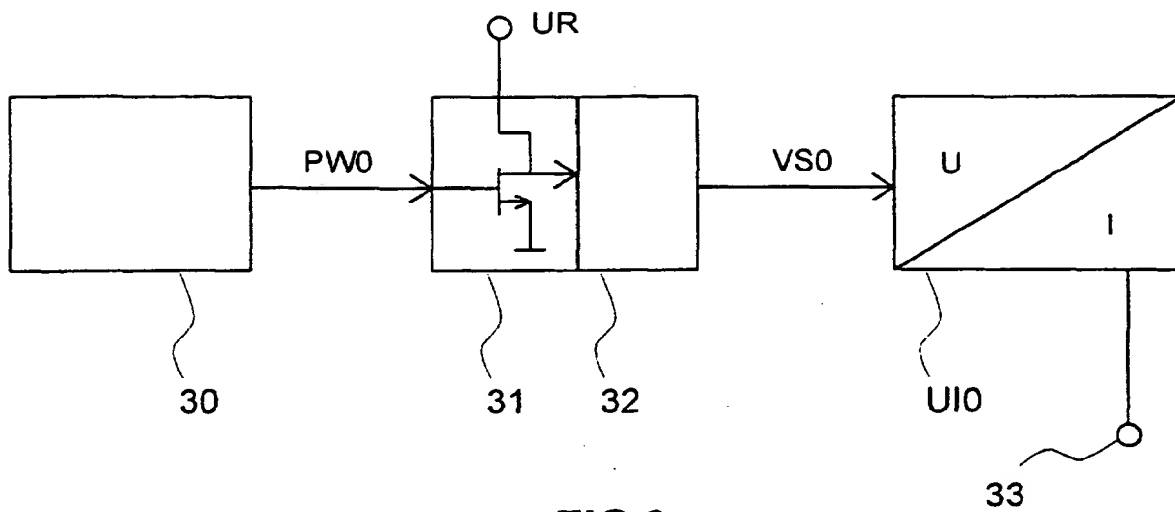


FIG 3

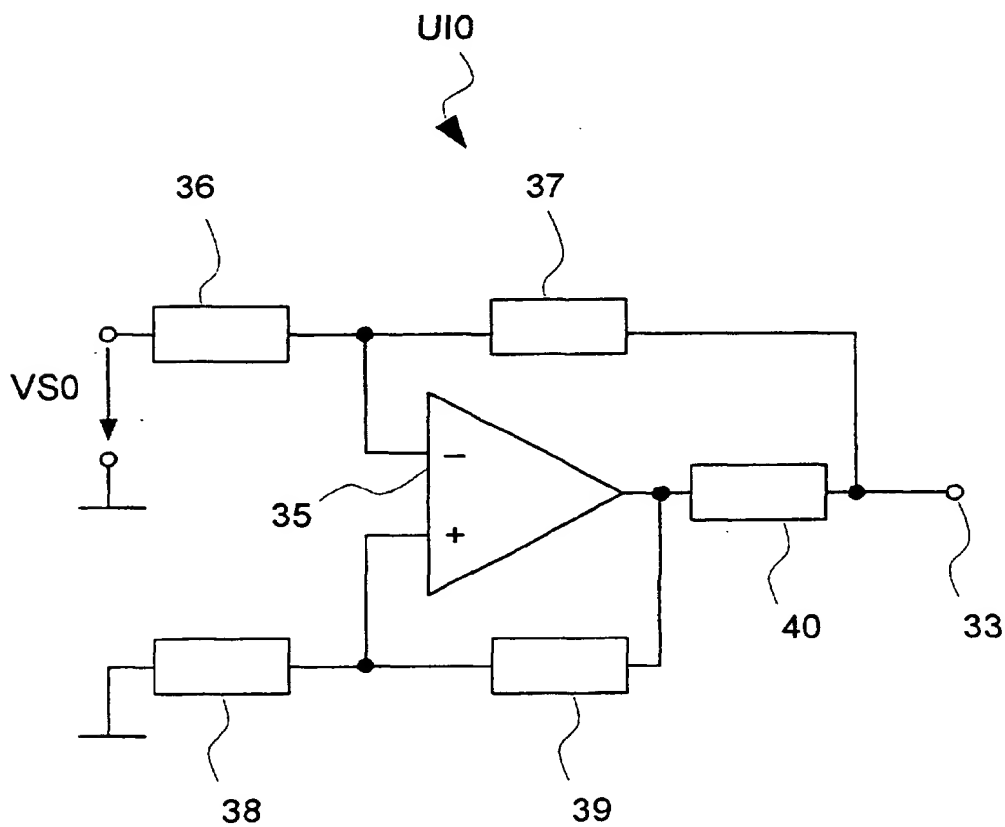


FIG 4